

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN MIT
AUTOMATISCHEN AMALGAMATOREN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von
ELSIE EWALD
Zahnärztin
Gross-Gerau

Mainz 1965

Aus der Konservierenden Abteilung
(Leiter: Prof. Dr. J. Kluczka)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
Direktor: Prof. Dr. F. Jung
der Johannes Gutenberg Universität Mainz/Rhein

Experimentelle Untersuchungen
mit
automatischen Amalgamatoren

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Johannes Gutenberg - Universität Mainz

vorgelegt von
Elsie Ewald
Zahnärztin
Gross - Gerau
Mainz 1965

Referent: Prof. Dr. Dr. P. Riethe

Korreferent: Prof. Dr. J. Kluczka

Tag der mündlichen Prüfung: 22.2.1965



Inhaltsübersicht

I. Einleitung	1
II. Beschreibung der Amalgamatoren	2
III. Herstellen der Versuchskörper und Meßmethode	3
IV. Allgemeines über das Dimensionsverhalten	4
V. Untersuchung des Mischvorganges	6
VI. Fehlerabschätzung	9
VII. Analysenergebnisse	10
VIII. Meßergebnisse	11
IX. Auswertung der Meßergebnisse	36
X. Fließneigung, Versuchsanordnung und Meßmethode	40
XI. Meßergebnisse und Fehlerabschätzung (Flow)	41
XII. Auswertung der Meßergebnisse (Flow)	43
XIII. Diskussion der Meßergebnisse	43
XIV. Zusammenfassung	44
Literaturverzeichnis	46



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554405_0069

Experimentelle Untersuchungen mit automatischen Amalgamatoren.

I. Einleitung:

1914 wurde von Link zum erstenmal von einer mechanischen Mischmethode berichtet. Der Antrieb der damaligen Mischer erfolgte bis zum Jahre 1933 mittels der zahnärztlichen Bohrmaschine. Von da an ist die von einem Elektromotor angetriebene automatische Mischmaschine bekannt geworden. Heute sind nun schon viele Typen solcher elektrischen Mischer auf dem Markt. Sie bieten dem Zahnarzt schnelles, bequemes und leichtes Arbeiten, können jedoch bei ungenauer Kenntnis des Apparates eine Verschlechterung der Eigenschaften des Amalgams bzw. der Füllung zur Folge haben. Vor der Inbetriebnahme eines Amalgamators muß vorausgesetzt werden, daß der Zahnarzt genau unterrichtet ist über

1) die Arbeitsweise des Gerätes

- a) konstante Umdrehungszahl des Motors von mindestens 2000 Umdrehungen/Minute (Schulte, G.H., 1955)
- b) Kapseln von gleichem Volumeninhalt
- c) exakte Zeiteinhaltung
- d) festen Verschuß der Kapsel

2) die Wahl des zu verarbeitenden Amalgams

3) die genaue Triturationszeit (=Anmischzeit) für das jeweilige Amalgam, denn Übertrituration bedeutet Kontraktion, Untertrituration Expansion

4) die Menge des Amalgams und die damit verbundene unterschiedliche Mischzeit. Kleine Mengen brauchen kürzere Mischzeiten als große Portionen

5) die Hg-Dosierung; je höher der Hg-Gehalt desto kürzer ist die Anmischzeit.

Der elektrische Mischer bietet gegenüber der Handanmischmethode mit dem Gummifingerling oder Mörser zahlreiche Vorteile:

- 1) eine Zeitersparnis, denn die Triturationszeit ist stark verkürzt,
- 2) man erhält eine gleichmäßigere und bessere Mischung, (Adolph, W 1957)
- 3) der ganze Vorgang des Anmischens unterliegt nicht mehr den Verschiedenheiten, die einem manuellen Mischvorgang anhaften,
- 4) bei allen Amalgamen herrschen die gleichen Bedingungen.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit besteht darin vier der gängigsten

Amalgamatoren zu untersuchen und miteinander zu vergleichen. In den elektrischen Mischgeräten wird das Amalgam unter Anwendung verschiedener Triturationszeiten zubereitet. Die mit diesem Amalgam gestopften Proben werden auf ihr Dimensionsverhalten und ihre Fließneigung geprüft. Wie sich aus den Versuchen ergibt, hängt der Erfolg oder Mißerfolg einer Füllung von der Anmischzeit und Technik sehr wesentlich ab.

II. Beschreibung der Amalgamatoren:

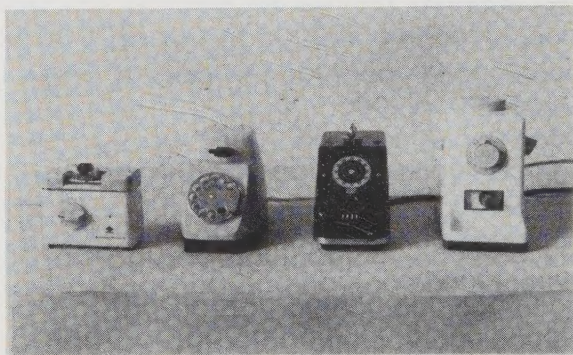


Abb. 1. Degussa-Mischer 2, Baker, Wig-L-Bug, NonzinComat

Alle oben angeführten Mischgeräte (Abb. 1) besitzen einen Synchron-Motor, der durch einen Zeitschalter in Betrieb gesetzt und der nach Ablauf der gewählten Mischzeit automatisch wieder ausgeschaltet wird. Der NonzinComat ist vollautomatisch, denn er dosiert und mischt gleichzeitig, während Legierung und Quecksilber im jeweiligen Mischungsverhältnis für die anderen drei Apparate zuerst abgewogen werden müssen. Die Mischkapsel wird bei Baker und Wig-L-Bug in eine Federklemme eingespannt, bei Degussa-Mischer 2 bewegt sich die Kapsel auf einem Schlitten hin und her, während die Mischkapsel beim NonzinComat aufgeschraubt wird. Die Schwingung der Kapsel bei Baker, Degussa-Mischer 2 und NonzinComat erfolgt linear, während bei Wig-L-Bug die Kapsel eine Achterligatur beschreibt. Außerdem unterscheiden sich die Mischkapseln bei allen Amalgamatoren in ihrem Volumeninhalt und der Art ihres Materials. Die Mischkapsel des Wig-L-Bug enthält noch zusätzlich einen kleinen Metall-Pistill. Obwohl die unter-

suchten Geräte alle nach demselben Prinzip arbeiten, erfolgt die automatische Zubereitung des Amalgams jedoch bei allen vier Geräten auf eine etwas verschiedene Art und unter anderen Bedingungen.

III. Herstellen der Versuchskörper und Meßmethode:

Bei allen vier Geräten wurde Standalloy Legierung (68% Ag) und vergleichsweise beim Gerät NonzinComat noch Nonzinc (70% Ag¹) benutzt. Für die Mischgeräte Baker, Degussa-Mischer 2 und Wig-L-Bug wurde Legierung und Quecksilber im vorgeschriebenen Mengenverhältnis 1 : 1 mit einer Dosierwaage abgewogen. Das Gerät NonzinComat wurde für Standalloy 1 : 1 und für Nonzinc 5 : 4,5 eingestellt. Um die Portionen möglichst gleich groß zu halten, wurden jeweils immer 3 Tropfen Quecksilber mit der entsprechenden Menge Legierung gemischt; bei der Baker-Mischkapsel konnten nur 2 Tropfen Quecksilber mit der entsprechenden Menge Legierung gemischt werden, da die Kapsel zu klein ist. Die Prüfkörper wurden in einer Stahlform (Abb. 2) in manuellem Arbeitsgang bei gleichbleibender Stopftechnik und möglichst gleichmäßigem Stopfdruck hergestellt.

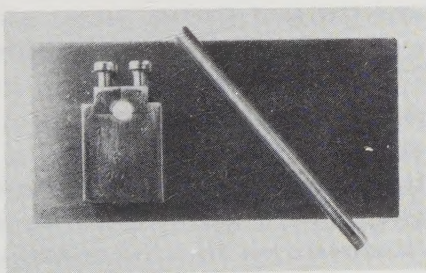


Abb. 2 Stopfform und Stopfer

Die Form besteht aus einem Stahlblock mit einer zylindrischen Ausbohrung, der Kavität, zur Aufnahme des Versuchskörpers, (Durchmesser der Bohrung 5 mm, Höhe 10 mm). Es wurde ein glatter Stopfer benutzt. Das Stopfen erfolgte in kleinen Portionen, wobei immer überschüssiges Quecksilber herausgedrückt wurde. Der quecksilberreiche Überschuß an der Oberfläche der Kavität wurde mit einer Rasierklinge entfernt und die Oberfläche geglättet. Anschließend wurde der Prüfkörper der Kavität entnommen und 15 Minuten

nach dem Anmischen des Amalgams mit den Messungen begonnen. Mischzeit und Stopfzeit liegen innerhalb dieser 15 Minuten. Dabei wurde der Prüfkörper nach 14 Minuten eine Minute lang in die Mikrometerschraube eingespannt und in der 15. Minute der erste Meßwert ermittelt. In der ersten Stunde wurde die Längenänderung halbstündlich abgelesen und anschließend 7 bis 8 Stunden lang jeweils nach einer Stunde. Nach 24 Stunden wurde dann der Endwert ermittelt. Während der ganzen Versuchsdauer standen die Prüfkörper frei in einem Wärmeschrank bei 37° Celsius.

Die Versuchsanordnung folgt genau den Forderungen der Spezifikation Nr. 1 des National Bureau of Standards. Als brauchbarste Methode zur Bestimmung der Längenänderung erwies sich die Benutzung einer Mikrometerschraube, da damit genauere Meßergebnisse erzielt werden konnten. Dabei konnte allerdings nicht vermieden werden, die Probekörper für die Dauer der Messung aus dem Wärmeschrank zu nehmen.

IV. Allgemeines über das Dimensionsverhalten der Amalgame:

Das National Bureau of Standards stellt folgende Forderungen an ein Amalgam:

- a) vollständige Amalgamation in 3 Minuten
- b) nach dem Anrühren darf das Amalgam weder körnig noch sandig sein
- c) 15 Minuten später muß es noch modellierbar sein
- d) nach 24 Stunden muß es polierfähig sein
- e) und eine Expansion von $3 - 13 \mu$ pro cm zeigen.

Wie schon erwähnt, verlangt das NBS eine Endexpansion von $3 - 13 \mu/\text{cm}$. Diese Endexpansion soll bei einer Amalgamfüllung im Munde guten Rand-schluß sichern und das Einwandern von Bakterien verhindern.

Charakteristisch für das Dimensionsverhalten der meisten Amalgame ist, daß sie während der ersten drei Stunden eine Kontraktion, die primäre Kontraktion, aufweisen. Sobald der für das jeweilige Amalgam charakteristische Minimalwert erreicht ist, geht diese primäre Kontraktion in eine Expansion über, die bei den meisten Amalgamen über den Nullpunkt hinausgeht, positive Expansion, bei anderen unter dem Nullpunkt bleibt, negative "Expansion". Die Expansion erreicht ihren Höchstwert zwischen der 9. und 13. Stunde. Dann schließt sich wieder eine ganz geringe Kontraktion, die sekundäre Kontraktion, an.

Der Wert nach der 24. Stunde stellt den für das Dimensionsverhalten entscheidenden Endexpansionswert dar, denn danach unterliegt das Amalgam keinen größeren Dimensionsschwankungen mehr. Die Größe der auftretenden Kontraktionen und Expansionen ist von verschiedenen Faktoren abhängig und läßt sich durch geeignete Wahl folgender Größen beeinflussen:

- a) Silbergehalt
- b) Hg-Zusatz
- c) Teilchengröße
- d) Stopfdruck
- e) Anmischmethode
- f) Anmischzeit

zu a) Es ist bekannt, daß mit steigendem Silbergehalt die primäre Kontraktion ab und die Endexpansion zunimmt. (Ilg, V.K. 1951, Lacroix, R. 1954, Lane, J.R. 1949)

zu b) Das quecksilberreichere Amalgam zeigt größere Endexpansionswerte als das quecksilberarme. Die Endexpansion eines Amalgams ist dem Hg-Zusatz direkt proportional.

zu c) Mit einer Verkleinerung der Teilchen und damit vollkommenerer Amalgamation ist eine größere primäre Kontraktion und eine Abnahme der Expansion verbunden. (Ficht, A. 1953, Haubeil, J. 1953, Helbig, K. 1951, Ilg, V.K. 1951, Lacroix, R. 1954, Lane, J.R. 1949, Riethe, P. 1958, Taylor, N.O., W.T. Sweeney und D.B. Mahler 1950)

Smith, E.A. 1949, schlägt Teilchen verschiedener Größe vor und meint damit den Ausgleich zwischen Expansion und Kontraktion gegeben zu haben. Ilg, V.K. 1951, ist für gleiche Teilchengröße; es sollte jedoch vermieden werden, eine weitere Teilchenzerkleinerung vorzunehmen, da diese zur Kontraktion führen würde.

Andererseits ist bei immer feinerer Teilchengröße das Amalgam den durch unbeabsichtigte Änderungen bei der Zubereitung hervorgerufenen Schwankungen um so weniger ausgesetzt, wobei die relativ größere Oberfläche der Teilchen eine schnellere und bessere Benetzung mit Quecksilber bewirkt.

zu d) Der Stopfdruck ist im Hinblick auf das Dimensionsverhalten sehr wichtig. Durch einen größeren Stopfdruck kann eine, wenn auch nur geringe Steigerung der Expansion des erhärteten Amalgams erzielt werden.

zu e) Die Zubereitung von Amalgam im Mörser, im Gummifingerling und im elektrischen Mischapparat ergab, daß die Expansion abnimmt, und zwar in

der Reihenfolge Gummifingerling, Mörser, elektrischer Mischapparat.
zu f) Die Anmischzeit wirkt sich bei einem Amalgam so aus, daß eine verlängerte Anmischzeit ein weniger stark expandierendes Amalgam ergibt.

V. Untersuchung des Mischvorganges:

Das Dimensionsverhalten der mit den Amalgammischgeräten hergestellten Probekörper hängt, wie die durchgeführten Versuche zeigen, entscheidend von der eingestellten Mischdauer ab. Für jedes Gerät läßt sich nach den vorangegangenen Ausführungen eine optimale Mischdauer ermitteln, mit welcher man ein Amalgam erhält, das die gewünschten Eigenschaften hinsichtlich seines Dimensionsverhaltens zeigt. Diese optimale Mischdauer ist, je nach der Art und Konstruktion des verwendeten Amalgammischgerätes, verschieden groß. Die Intensität der Mischung ist bei gleicher Mischdauer aber verschiedenem Amalgammischgerät offenbar recht unterschiedlich. Es liegt deshalb nahe, den Vorgang der Mischung etwas genauer zu untersuchen und nach den physikalischen Größen zu fragen, die dabei von Einfluß sind.

Bei allen in dieser Arbeit untersuchten Amalgammischgeräten erfolgt die Mischung des Quecksilbers mit der Legierung in einer periodisch hin und her bewegten Kapsel. Das Mischen kann hier mit einem intensiven Schütteln verglichen werden. Die Vermengung der einzelnen Bestandteile in der Kapsel wird immer dann stattfinden, wenn der Inhalt gegen die Wandungen der Kapsel geschleudert wird, d.h. wenn infolge der Bewegung Beschleunigungskräfte auftreten, die auf den "Mischling" einwirken.

Diese Kräfte, die in dem vorliegenden Falle die Mischung bewirken, sind proportional der Masse der zu mischenden Metalle und proportional zu der Beschleunigung, die bei der vorgegebenen Bewegung auftritt. Da es bei der Durchmischung nur auf die volumenbezogene Masse ankommt, kann diese hier praktisch als konstant angesehen werden.

Als maßgebende Größe für den hier betrachteten Mischvorgang erweist sich also die Beschleunigung der Kapsel. Die periodisch auf einer Strecke der Länge $2 x_0$ hin und her bewegte Kapsel beschreibt während der Mischung praktisch eine harmonische Bewegung von der Art einer Sinus-Schwingung; d.h. der Ausschlag x der Kapsel in Abhängigkeit von der Zeit t gehört einer Sinusfunktion der bekannten Form:

$$x(t) = x_0 \sin \omega t$$

x_0 bezeichnet die Amplitude der Schwingung (maximaler Ausschlag nach der Seite)

ω ist die sogenannte Kreisfrequenz;

$$\omega = 2\pi\nu \quad ; \quad \nu \text{ Frequenz in Hz; } T = \frac{1}{\nu} \quad \text{Periodendauer}$$

t beschreibt die Zeit; Beginn des Mischvorganges bei $t = 0$. Gesucht ist die Beschleunigung, die bei dieser Art der Bewegung auftritt.

Die Differentiation des Weges nach der Zeit liefert zunächst die Geschwindigkeit

$$\frac{dx(t)}{dt} = v(t) = x_0 \omega \cos \omega t$$

Die zweimalige Differentiation des Weges nach der Zeit ergibt die gesuchte Beschleunigung:

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = \frac{dv(t)}{dt} = b(t) = -x_0 \omega^2 \sin \omega t$$

Die Größe $x_0 \omega^2$ bezeichnet die innerhalb einer Periode der Schwingung maximal auftretende Beschleunigung. (Das negative Vorzeichen gibt die Phasenlage der Schwingung an und kann hier außer Acht gelassen werden.)

Es ergibt sich, daß die Beschleunigung und damit die die Mischung verursachende Kraft sich ebenfalls nach Maßgabe einer Sinusfunktion zeitlich ändert, und daß ihr Maximalwert, auf den es hier ankommt, proportional mit der Amplitude x_0 und dem Quadrat der Frequenz wächst.

Von großem Einfluß auf die Intensität der Mischung erweist sich also die Frequenz, mit welcher die Kapsel hin und her bewegt wird; einen etwas geringeren Einfluß hat die auftretende maximale Auslenkung x_0 .

Im Hinblick auf dieses Ergebnis wurden die vier zu Verfügung stehenden Amalgammischgeräte auf ihre Schwingungsamplitude und ihre Frequenz hin untersucht. Die Amplitude läßt sich durch Messung des von der Nulllage aus erreichbaren maximalen Ausschlages bestimmen. Zur Messung der Frequenz wurde ein Stroboskop verwendet. (Abb. 4)

Tabelle 1 enthält die Meßergebnisse für die vier untersuchten Geräte. Die Berechnung der maximal auftretenden Beschleunigung aus den Meßwerten ergibt etwa gleich große Werte für die Geräte Baker und Degussa-Mischer 2. Für das Gerät NonzinComat dagegen ist der ermittelte Wert doppelt so groß. (siehe Tabelle 1)

Diese Werte maximaler Beschleunigung stellen nach den vorangehenden Überlegungen ein Maß für die Intensität der Mischung dar, gleiche Mischdauer und gleiches Prinzip des Mischvorganges vorausgesetzt. Vergleicht man diese Werte mit den bei gleicher Mischdauer an den vier Geräten erzielten

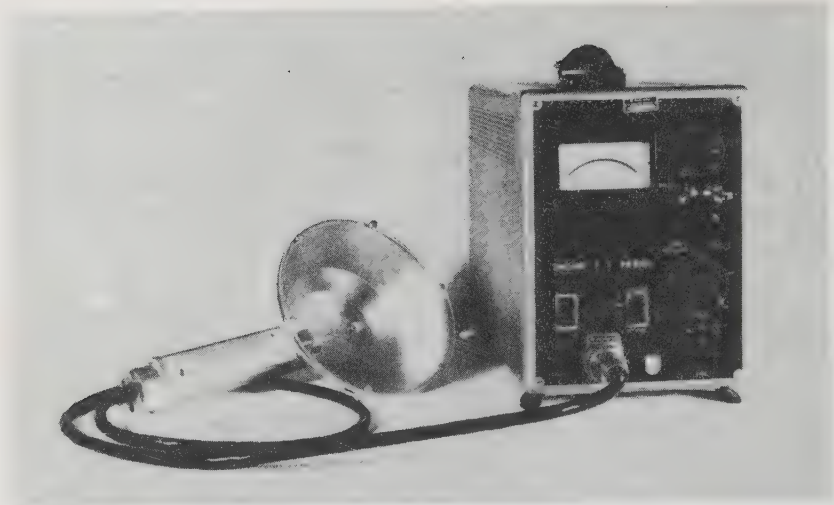


Abb. 4

Das Stroboskop ist ein Gerät zur Untersuchung schneller periodischer Vorgänge. In einer Glimmlampe wird eine Folge kurzer Lichtblitze erzeugt, deren Folgefrequenzen in einem relativ großen Frequenzbereich (etwa 5-300 Hz) je nach Wahl vorgegeben werden kann. Bei richtiger Vorgabe der Blitz-Folgefrequenz wird der sich periodisch bewegend Gegenstand stets an derselben Stelle seiner Bahn beleuchtet. Das Auge sieht ein stehendes Bild. Die gesuchte Frequenz ist gleich der Blitz - Folgefrequenz (oder einem ganzen Vielfachen davon).

Tabelle 1

	Frequenz ν [Hz]	Amplitude x_0 [mm]	Beschleunigungs- amplitude $x_0 \omega^2$ [$\frac{mm}{sec^2}$]
Baker	45	5,5	$44 \cdot 10^4$
Degussa-Mischer 2	42	6,5	$45 \cdot 10^4$
NonzinComat	46	10,5	$90 \cdot 10^4$
Wig-L-Bug			
a) Längsschwingung	44 1/2	7,5	60
b) Querschwingung	44 1/2	1,5	12
c) Vertikalschwingung	44 1/2	1,0	8

$= 80 \cdot 10^4$

Endwerten für das Dimensionsverhalten der Amalgamproben, so zeigt sich innerhalb der vorhandenen Genauigkeit eine systematische Abhängigkeit zwischen dem Mischvorgang der einzelnen Geräte und dem Endwert für das Dimensionsverhalten. Je intensiver die Mischung auf Grund der konstruktiven Daten des jeweiligen Gerätes um so kleiner ist im Durchschnitt der mittlere Endwert des Probekörpers.

Das Gerät Wig-L-Bug läßt sich auf Grund seiner Konstruktion nicht ohne weiteres mit den drei anderen Geräten vergleichen. Beim Mischvorgang dieses Gerätes wird die Mischkapsel nicht horizontal längs einer Geraden hin und her bewegt, sondern sie führt eine räumliche Bewegung etwa in Form einer verbogenen "8" aus. Die Beobachtung mit dem Stroboskop zeigte, daß die vorliegende Bewegung aus drei senkrecht zueinander verlaufenden linearen Schwingungen zusammengesetzt gedacht werden kann. Alle drei Bewegungen sind gleichzeitig wirksam und tragen zum Mischvorgang bei. Außerdem enthält die Kapsel einen Pistill, durch den der Mischvorgang zusätzlich beschleunigt wird.

VI. Fehlerabschätzung zur Messung des Dimensionsverhaltens der Probekörper.

Eine Fehlerabschätzung wurde allein für den nach 24 Stunden ermittelten Endwert durchgeführt, da dieser Wert entscheidend für die Güte des zubereiteten Amalgams ist. Aus 3, 4 bzw. 5 Messungen wurde der arithmetische Mittelwert $\bar{d}$ gebildet und die Standardabweichung s_d (mittlerer Fehler der Einzelmessung) berechnet.

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{n} ; \quad s_d = \sqrt{\frac{\sum [d - \bar{d}]^2}{n - 1}} \quad \begin{array}{l} n \text{ Anzahl der Messungen} \\ d_i \text{ Wert der Einzelmessung} \end{array}$$

Für den Endwert wurde außerdem der Vertrauensbereich bei einer statistischen Sicherheit von 95% angegeben.

$$\text{Vertrauensbereich} = \pm \frac{t}{\sqrt{n}} s_d = \pm t \sqrt{\frac{\sum [d - \bar{d}]^2}{n(n - 1)}}$$

Die Werte für t wurden einer Tabelle entnommen. (siehe DIN 1319)

VII. Analyse der Stopfkörper:

Um einen Aufschluß über die Zusammensetzung der Stopfkörper zu erhalten, wurden vier willkürlich herausgegriffene Proben der angefertigten Prüfkörper sowie des beim Stopfen entfernten Materials einer genauen Analyse unterworfen. Die Analysen wurden allein für Standalloy-Stopfkörper durchgeführt.

In der folgenden Tabelle sind die genauen Analysenergebnisse in % aufgeführt.

Tabelle 2

Analysenmaterial		Zusammensetzung in %			
		Ag	Cu	Sn	Hg
Hg-reiches Amalgam, beim Stopfen entfernt	Probe 1	32,96	2,48	12,92	51,64
"	Probe 2	23,10	1,74	9,20	65,96
"	Probe 3	21,92	1,34	8,78	67,96
"	Probe 4	22,66	1,58	9,12	66,64
Stopfkörper	Probe 1	42,64	3,16	16,46	37,74
"	Probe 2	40,90	3,02	15,80	40,28
"	Probe 3	40,08	2,54	15,46	41,92
"	Probe 4	42,12	2,94	16,30	38,64

Auf den folgenden Seiten sind die Meßergebnisse und ihre graphische Darstellung wiedergegeben.

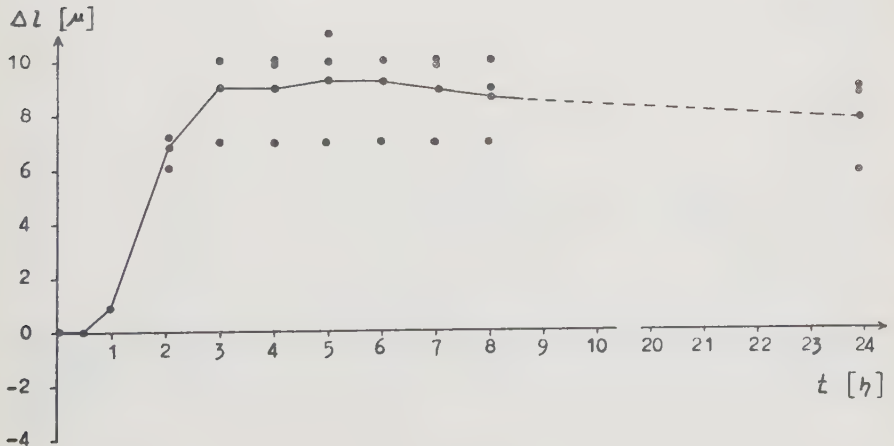
In den Diagrammen sind die Durchschnittswerte aus den Messungen der Deutlichkeit wegen durch Linien verbunden.

Amalgamator: Baker
Legierung: Standalloy
Mischdauer: 15 sec

Std. d_1	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	0	0	0			0,0
1	1	1	1			1,0
2	6	7	7			6,7
3	7	10	10			9,0
4	7	10	10			9,0
5	7	11	10			9,3
6	7	11	10			9,3
7	7	10	10			9,0
8	7	9	10			8,7
9						
24	6	9	9			8,0 $\pm$ 4,3 +

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
 $s_d = \pm 1,73$

+ Vertrauensbereich für 95
 statistische Sicherheit

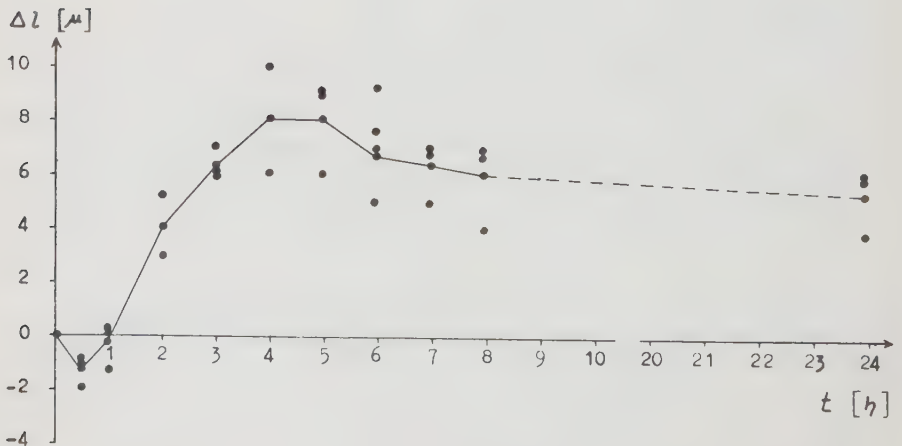


Amalgamator: Baker
Legierung: Standalloy
Mischdauer: 20 sec

Std d_i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	-1	-1	-2			-1,3
1	0	-1	0			-0,3
2	4	3	5			4,0
3	7	6	6			6,3
4	8	6	10			8,0
5	9	6	9			8,0
6	7	5	8			6,7
7	7	5	7			6,3
8	7	4	7			6,0
9						
24	6	4	6			5,3 $\pm 2,88$ +

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
 $s_d = \pm 1,15$

+ Vertrauensbereich für 95 %
 statistische Sicherheit

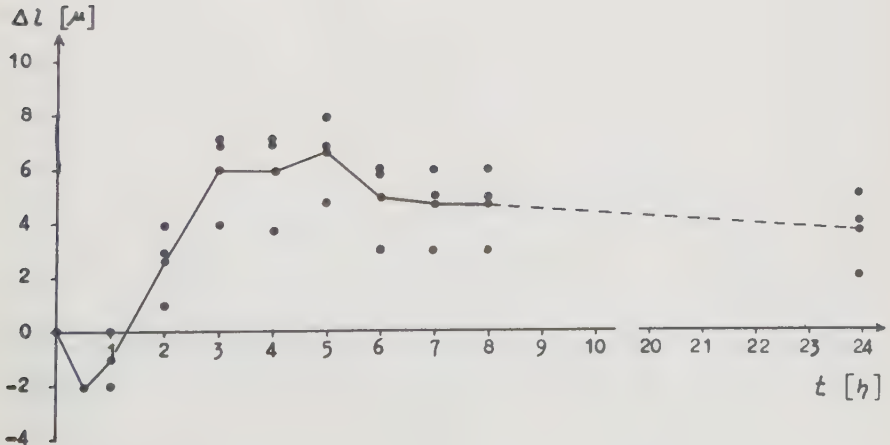


Amalgamator: Baker
Legierung: Standalloy
Mischdauer: 25 sec

Std. d ₁	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	-2	-2	-2			-2,0
1	0	-1	-2			-1,0
2	4	3	1			2,7
3	7	7	4			6,0
4	7	7	4			6,0
5	7	8	5			6,7
6	6	6	3			5,0
7	5	6	3			4,7
8	5	6	3			4,7
9						
24	4	5	2			3,7 $\pm$ 3,8 +

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
 $s_d = \pm 1,53$

+ Vertrauensbereich für 95 % statistische Sicherheit

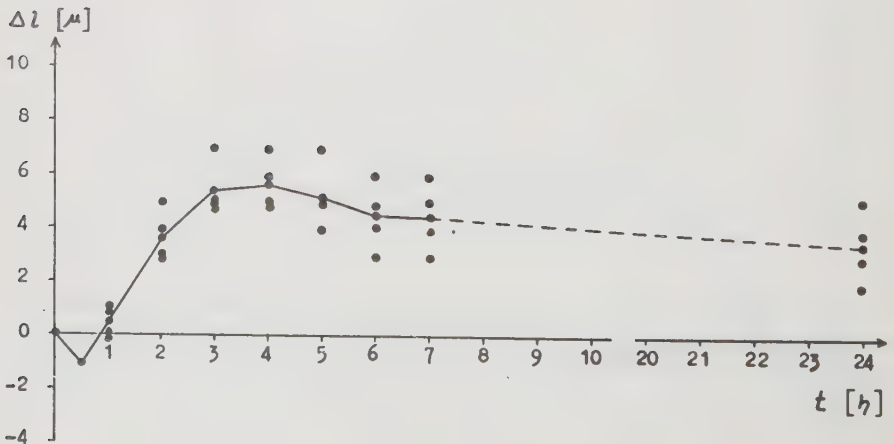


Amalgamator: Baker
Legierung: Standalloy
Mischdauer: 30 sec

Std. d_i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0	0		0,0
1/2	-1	-1	-1	-1		-1,0
1	1	1	0	0		0,5
2	4	5	3	3		3,7
3	5	7	5	5		5,5
4	6	7	5	5		5,7
5	5	7	5	4		5,2
6	4	6	5	3		4,5
7	4	6	5	3		4,5
8	4	6				
9	3					
24	3	5	4	2		3,5 $\pm$ 2,06 +

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
 $s_d = \pm 1,29$

+ Vertrauensbereich für 95 %
 statistische Sicherheit

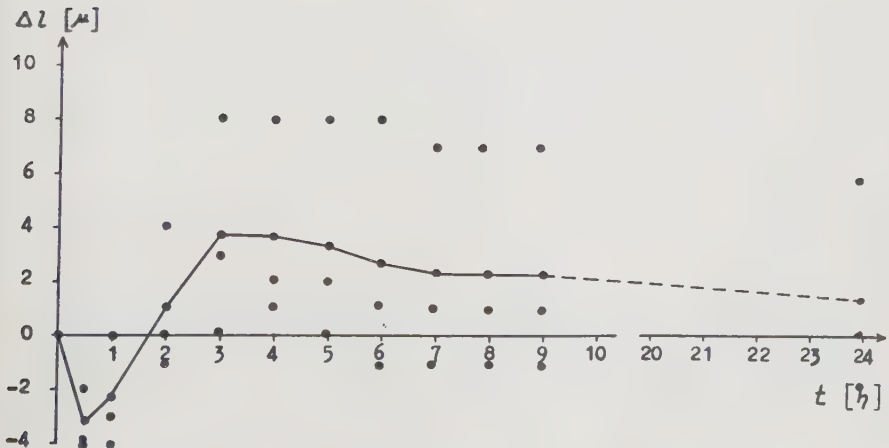


Amalgamator: Baker
Legierung: Standalloy
Mischdauer: 35 sec

Std. d_i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	-2	-4	-4			-3,3
1	0	-4	-3			-2,3
2	4	-1	0			1,0
3	8	0	3			3,7
4	8	1	2			3,7
5	8	0	2			3,3
6	8	-1	1			2,7
7	7	-1	1			2,3
8	7	-1	1			2,3
9	7	-1	1			2,3
24	6	-2	0			1,3 $\pm$ 3,9 +

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
 $sd = \pm 1,58$

+ Vertrauensbereich für 95 %
 statistische Sicherheit



Amalgamator: Degussa-Mischer 2

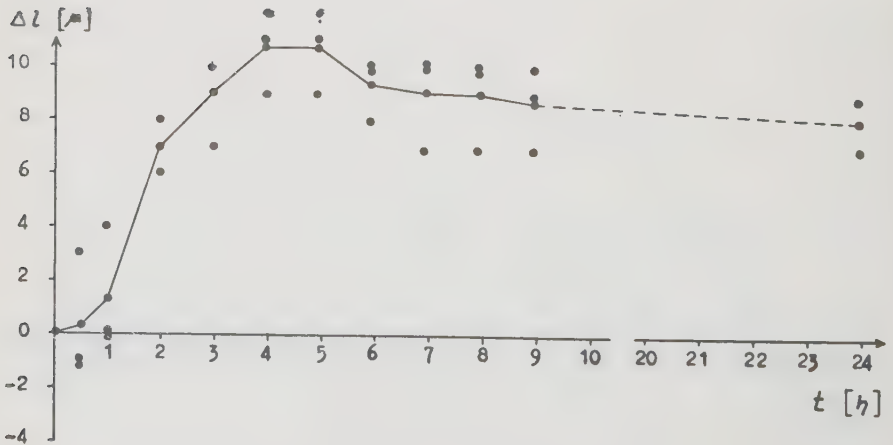
Legierung: Standalloy

Mischdauer: 15 sec.

Std. d_i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	-1	3	-1			0,3
1	0	4	0			1,3
2	7	8	6			7,0
3	7	10	10			9,0
4	9	11	12			10,7
5	9	12	11			10,7
6	8	10	10			9,3
7	7	10	10			9,0
8	7	10	10			9,0
9	7	9	10			8,7
24	7	8	9			8,0 $\pm$ 2,5 +

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
 $sd = \pm 1$

+ Vertrauensbereich für 95 %
statistische Sicherheit



Amalgamator: Degussa-Mischer 2

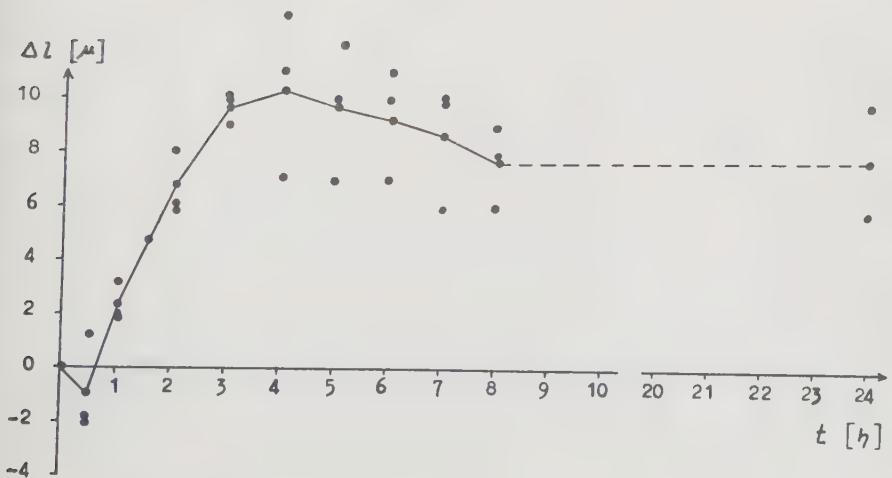
Legierung: Standalloy

Mischdauer: 20 sec

Std Δ_i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	1	- 2	-2			-1,0
1	3	2	2			2,3
2	8	6	6			6,7
3	10	10	9			9,7
4	13	11	7			10,3
5	12	10	7			9,7
6	11	10	7			9,3
7	10	10	6			8,7
8	9	8	6			7,7
9						
24	10	8	6			8,0 $\pm$ 4,95 +

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
 $s_d = \pm 2$

+ Vertrauensbereich für 95 %
 statistische Sicherheit



Amalgamator: Degussa-Mischer 2

Legierung: Standalloy

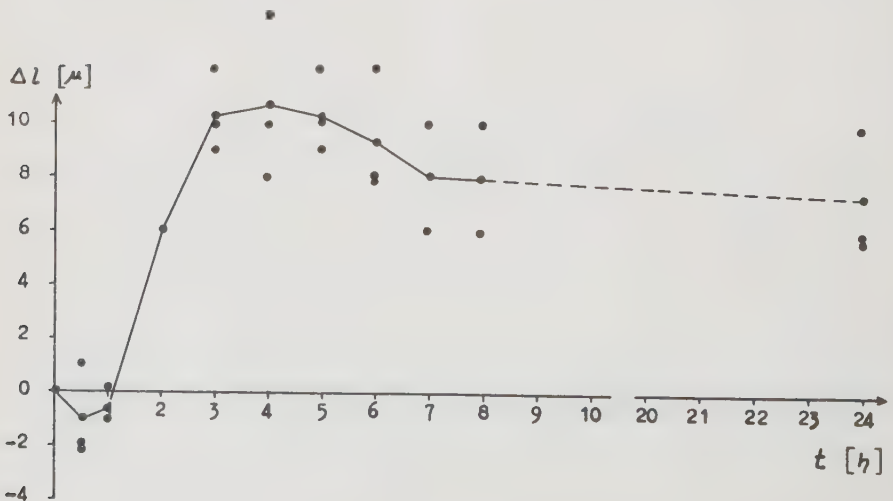
Mischdauer: 25 sec

Std. d_i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	1	-2	-2			-1,0
1	0	-1	-1			-0,7
2	6	6	6			6,0
3	12	9	10			10,3
4	14	8	10			10,7
5	12	9	10			10,3
6	12	8	8			9,3
7	10	6	8			8,0
8	10	6				8,0
9						
24	10	6	6			7,3 $\pm$ 5,7 $\pm$

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:

$$s_d = \pm 2,31$$

+ Vertrauensbereich für 95 % statistische Sicherheit



Amalgamator: Degussa-Mischer 2

Legierung: Standalloy

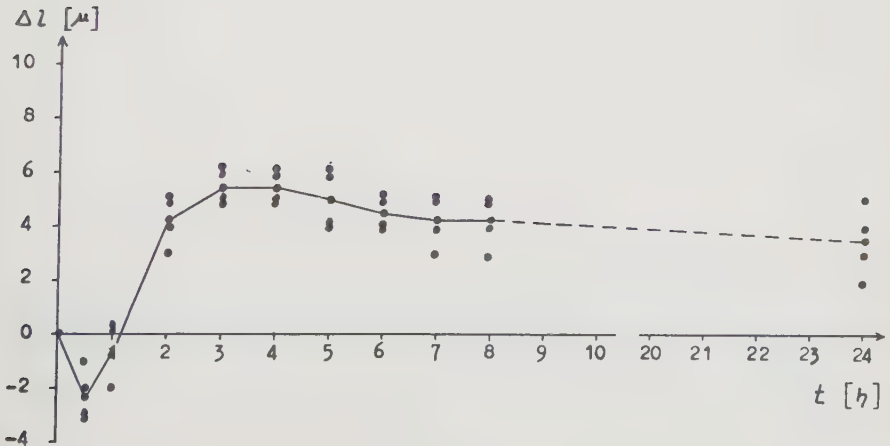
Mischdauer: 30 sec

Std. d ₁	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0	0		0,0
1/2	-3	-1	-3	-2		-2,3
1	-2	0	0	0		-0,5
2	5	4	3	5		4,3
3	6	5	5	6		5,5
4	6	5	5	6		5,5
5	6	4	4	6		5,0
6	5	4	4	5		4,5
7	5	4	3	5		4,3
8	5	4	3	5		4,3
9	5					
24	5	3	2	4		3,5 $\pm$ 2,05 $\pm$

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:

$$s_d = \pm 1,29$$

+ Vertrauensbereich für 95 % statistische Sicherheit



Amalgamator: Degussa-Mischer 2

Legierung: Standalloy

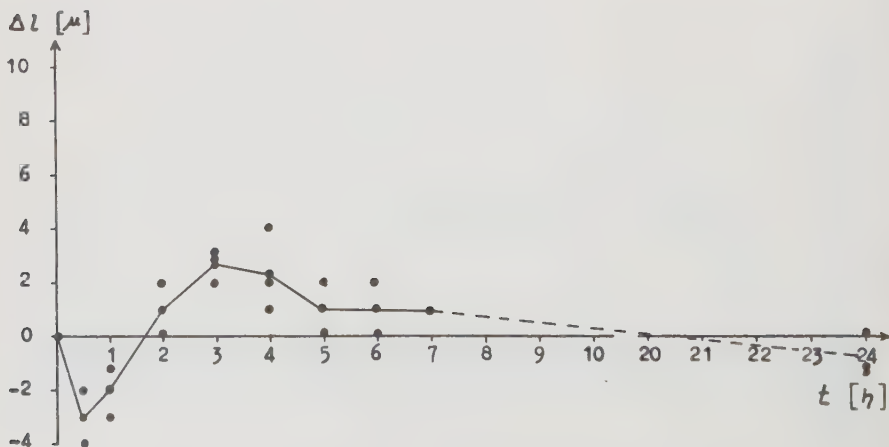
Mischdauer: 35 sec

Std. d_i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	-3	-4	-2			-3,0
1	-1	-3	-2			-2,0
2	2	0	1			1,0
3	3	2	3			2,7
4	4	2	1			2,3
5	2	0	1			1,0
6	2	0	1			1,0
7	2	0	-			1,0
8						
9						
24	0	-1	-1			-0,7 $\pm$ 1,8 $\pm$

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:

$s_d = \pm 0,73$

+ Vertrauensbereich für 95 % statistische Sicherheit



Amalgamator: NONZINComat

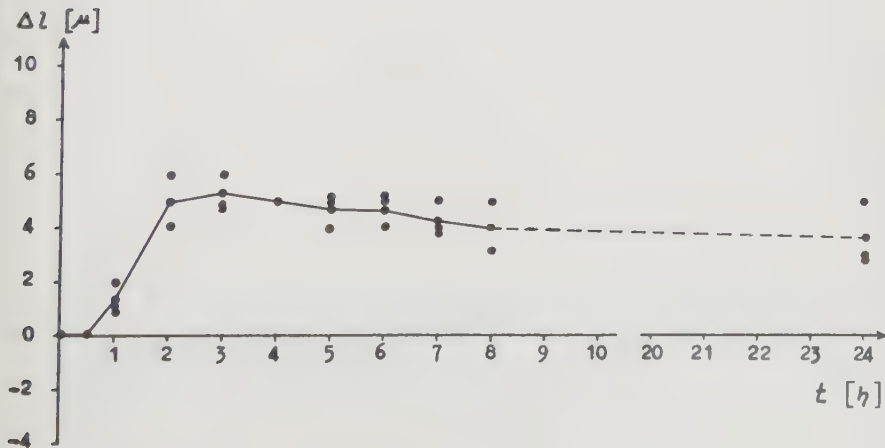
Legierung: Standalloy

Mischdauer: 15 sec

Std. d ₁	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	0	0	0			0,0
1	1	2	1			1,3
2	4	5	6			5,0
3	5	5	6			5,3
4	5	5	5			5,0
5	5	4	5			4,7
6	5	4	5			4,7
7	4	4	5			4,3
8	4	3	5			4,0
9		3				
24	3	3	5			3,7 $\pm$ 2,88 $\pm$

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
 $s_d = \pm 1,15$

+ Vertrauensbereich für 95 %
 statistische Sicherheit



Amalgamator: NONZINComat

Legierung: Standalloy

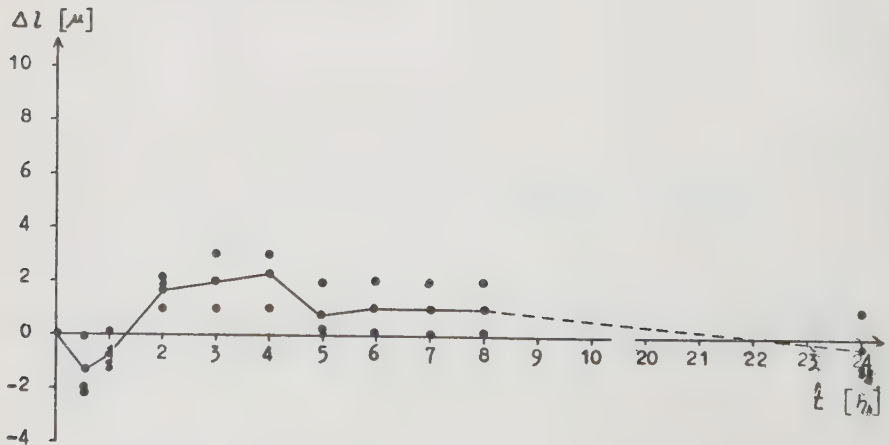
Mischdauer: 20 sec

Std. d_i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	-2	0	-2			-1,3
1	-1	0	-1			-0,7
2	2	2	1			1,7
3	3	2	1			2,0
4	3	3	1			2,3
5	2	0	0			0,7
6	2	1	0			1,0
7	2	1	0			1,0
8	2	1	0			1,0
9						
24	1	-1	-1			-0,3 $\pm$ 2,88 +

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:

$S_d = \pm 1,15$

+ Vertrauensbereich für 95 % statistische Sicherheit



Analysator: NONZINComat

Legierung: Standalloy

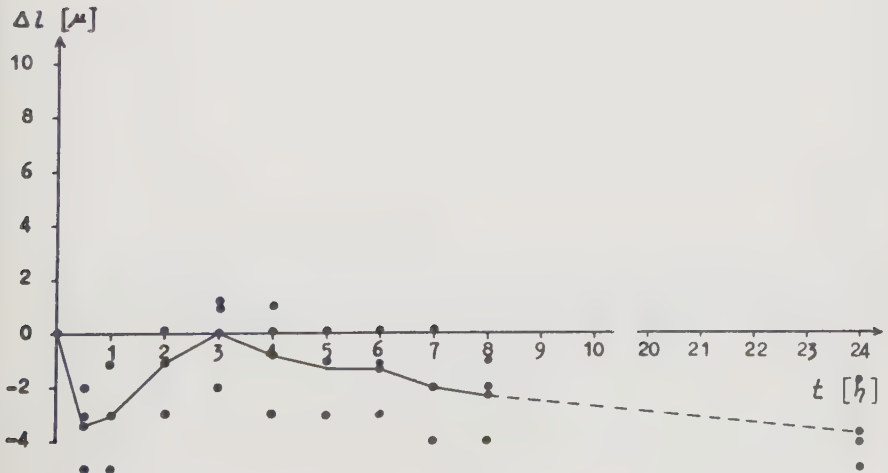
Mischdauer: 25 sec

Std. d ₁	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	-3	-5	-2			-3,3
1	-3	-5	-1			-3,0
2	0	-3	0			-1,0
3	1	-2	1			0,0
4	0	-3	1			-0,7
5	0	-3	-1			-1,3
6	0	-3	-1			-1,3
7	0	-4	-2			-2,0
8	-1	-4	-2			-2,3
9						
24	-2	-5	-4			-3,7 $\pm$ 3,8 $\pm$

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:

sd = $\pm$ 1,53

+ Vertrauensbereich für 95 % statistische Sicherheit



Amalgamator: NONZINComat

Legierung: Standalloy

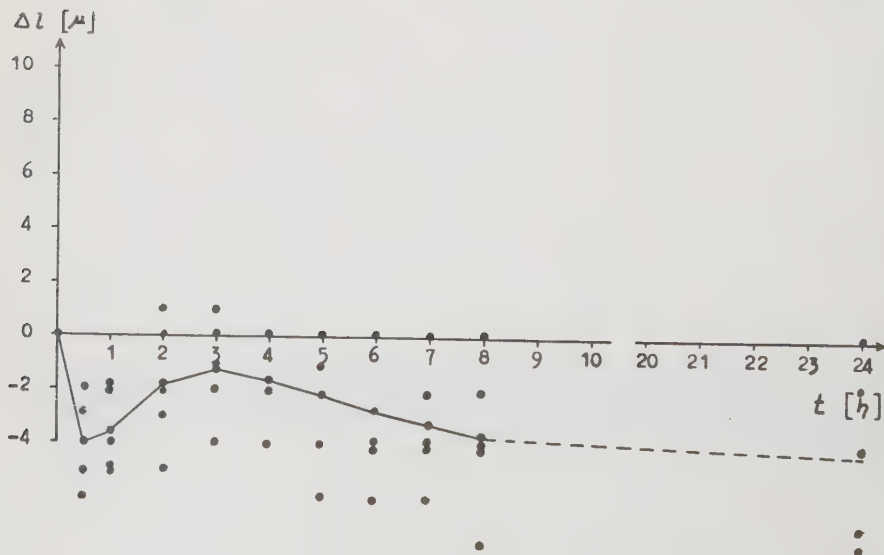
Mischdauer: 30 sec

Std d _i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0	0	0	0,0
1/2	-4	-6	-2	-5	-3	-4,0
1	-2	-5	-2	-5	-4	-3,6
2	0	-5	1	-3	-2	-1,8
3	0	-4	1	-2	-1	-1,2
4	0	-4	0	-2	-2	-1,6
5	0	-6	0	-4	-1	-2,2
6	0	-6	0	-4	-4	-2,8
7	0	-6	-2	-4	-4	-3,2
8	0	-8	-2	-4	-4	-3,6
9						
24	0	-8	-2	-7	-4	-4,2 $\pm$ 4,20 $\pm$

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:

sd = $\pm$ 3,34

+ Vertrauensbereich für 95 % statistische Sicherheit



Amalgamator: NONZINComat

Legierung: Standalloy

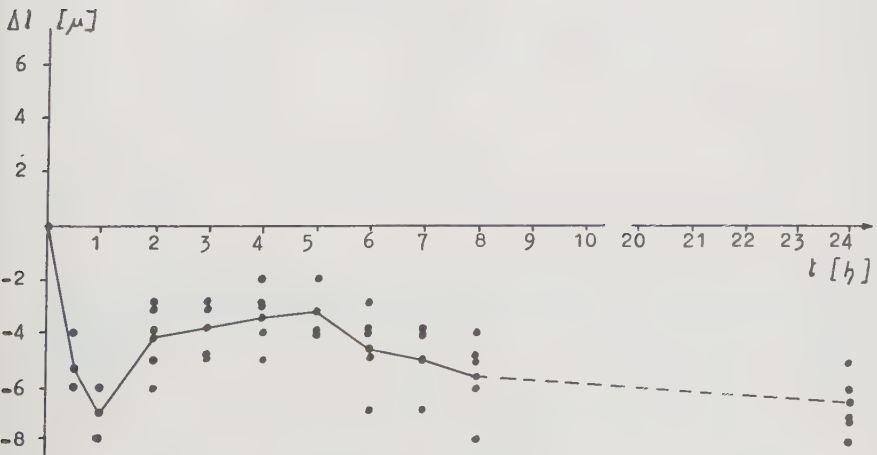
Mischdauer: 35 sec

Std. d _i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0	0	0	0,0
1/2	-5	-4	-5	-6	-5	-5,0
1	-7	0	-14	-8	-6	-7,0
2	-4	-3	-3	-6	-5	-4,2
3	-3	-3	-3	-5	-5	-3,8
4	-3	-3	-2	-4	-5	-3,4
5	-	-	-2	-4	-4	-3,3
6	-4	-4	-3	-7	-5	-4,6
7	-5	-4	-4	-7	-5	-5,0
8	-5	-5	-4	-8	-6	-5,6
9	-6	-6				
24	-7	-6	-5	-8	-7	-6,6 $\pm$ 1,43

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:

$s_d = \pm 1,14$

+ Vertrauensbereich für 95% statistische Sicherheit



Amalgamator: NonzinComat

Legierung: Nonzinc

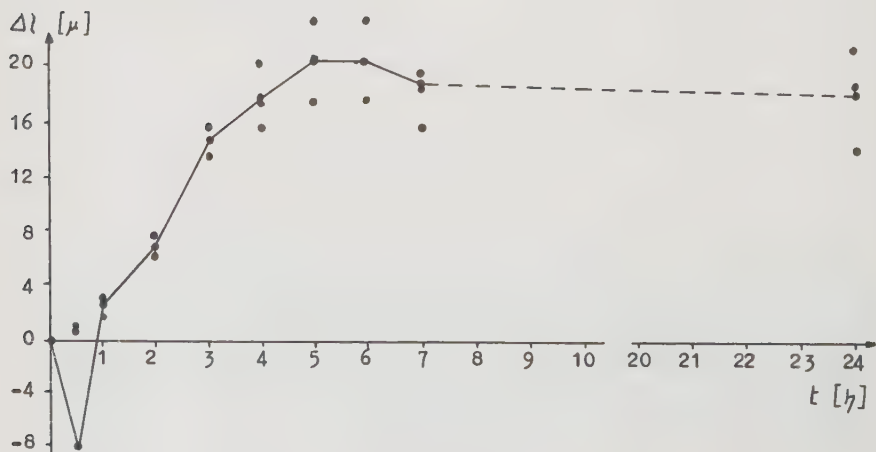
Mischdauer: 15 sec

Std. d _i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in u
0	0	0	0			0,0
1/2	-26	1	1			-8,0
1	2	3	3			2,7
2	7	8	7			7,3
3	14	15	16			15,0
4	16	18	21			18,3
5	18	24	21			21,0
6	18	24	21			21,0
7	16	23	20			19,3
8	14					
9						
24	14	22	19			18,3 ± 1,0 +

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:

$s_d = \pm 4,04$

+ Vertrauensbereich für 95 % statistische Sicherheit



Amalgamator: NONZINComat

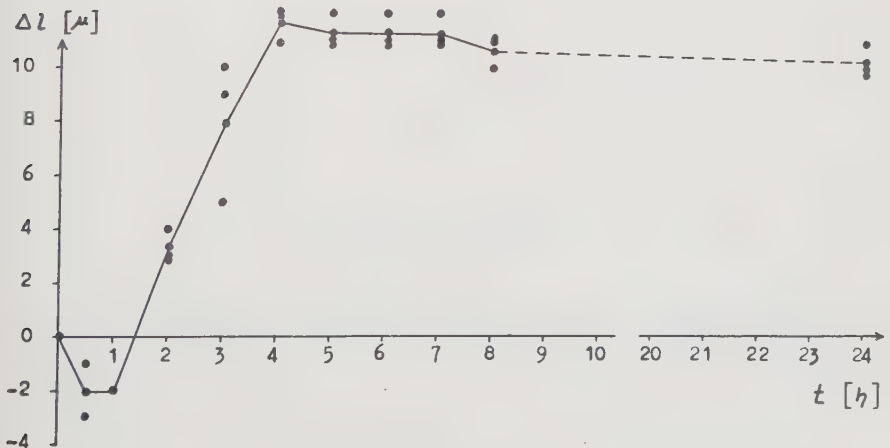
Legierung: Nonzinc

Mischdauer: 20 sec

Std. d _i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	-3	-2	-1			-2,0
1	-2	-2	-2			-2,0
2	3	4	3			3,3
3	5	10	9			8,0
4	11	12	12			11,7
5	11	12	11			11,3
6	11	12	11			11,3
7	11	12	11			11,3
8	11	11	10			10,7
9						
24	10	10	10			10,3 $\pm$ 1,42 +

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
 $s_d = \pm 0,58$

+ Vertrauensbereich für 95 %
 statistische Sicherheit



Amalgamator: NONZINComat

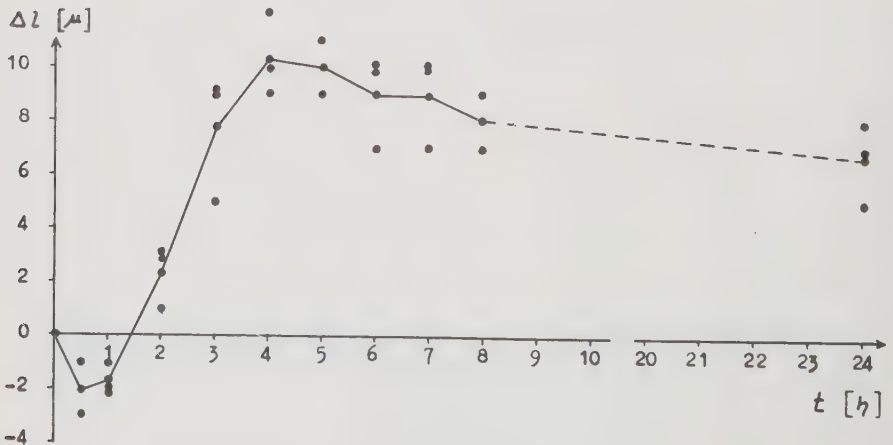
Legierung: Nonzinc

Mischdauer: 25 sec

Std. d_i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	-2	-3	-1			-2,0
1	-2	-2	-1			-1,7
2	1	3	3			2,3
3	5	9	9			7,7
4	9	10	12			10,3
5	9	10	11			10,0
6	7	10	10			9,0
7	7	10	10			9,0
8	7	9	8			8,0
9			7			
24	5	8				6,7 $\pm$ 3,8 +

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
 $sd = \pm 1,53$

+ Vertrauensbereich für 95 %
 statistische Sicherheit



Amalgamator: NONZINComat

Legierung: Nonzinc

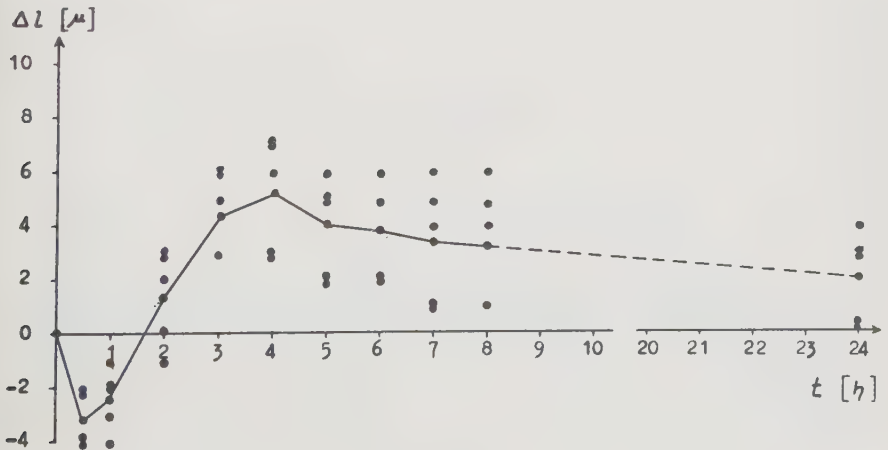
Mischdauer: 30 sec

Std. d ₁	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0	0	0	0,0
1/2	-4	-2	-2	-4	-4	-3,2
1	-2	-1	-2	-4	-3	-2,4
2	3	3	2	0	-1	1,4
3	6	6	5	3	2	4,4
4	7	7	6	3	3	5,2
5	5	6	5	2	2	4,0
6	4	6	5	2	2	3,8
7	4	6	5	1	1	3,4
8	4	6	5	1	0	3,2
9	4					
24	3	4	3	0	0	2,0 $\pm$ 2,35 $\pm$

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:

$s_d = \pm 1,87$

+ Vertrauensbereich für 95 statistische Sicherheit



Amalgamator: NONZINComat

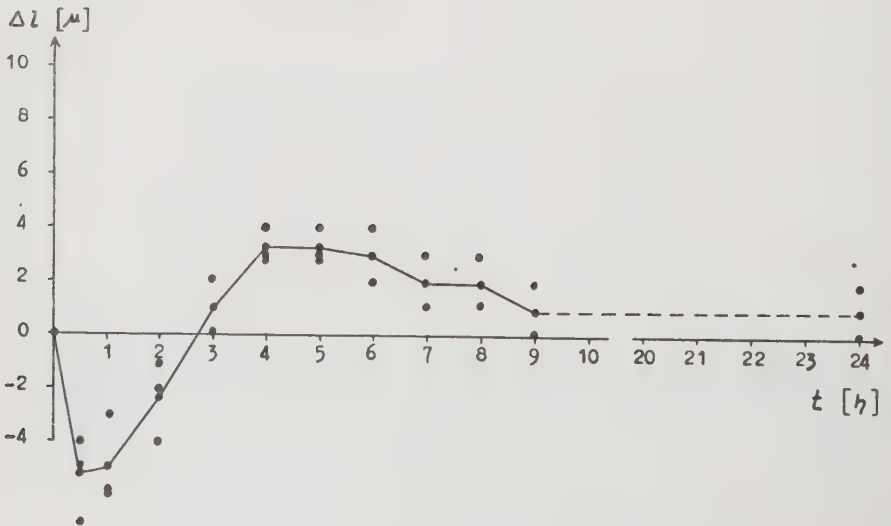
Legierung: Nonzinc

Mischdauer: 35 sec

Std d_i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	-7	-4	-5			-5,3
1	-6	-3	-6			-5,0
2	-2	-1	-4			-2,3
3	2	1	0			1,0
4	4	3	3			3,3
5	4	3	3			3,3
6	4	2	3			3,0
7	3	2	1			2,0
8	3	2	1			2,0
9	2	1	0			1,0
24	2	1	0			1,0 $\pm 2,5$ +

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
sd = ± 1

+ Vertrauensbereich für 95 %
statistische Sicherheit



Amalgamator: Wig-L-Bug

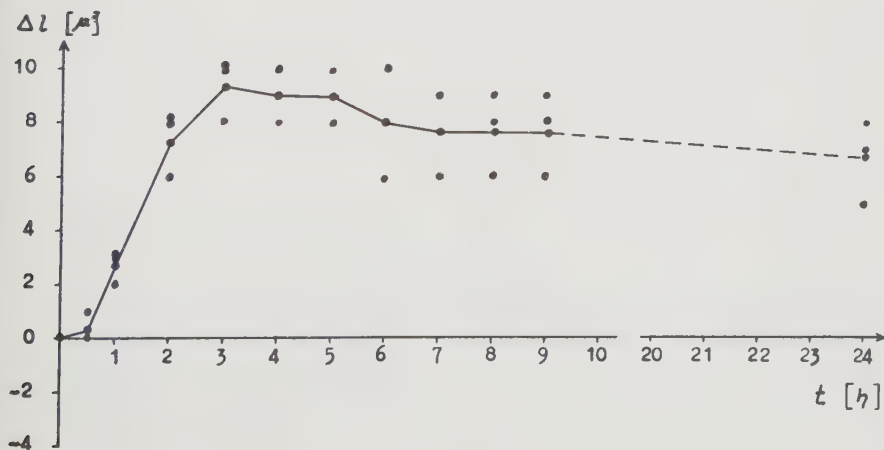
Legierung: Standalloy

Mischdauer: 8 sec

Std. d_1	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	0	1	0			0,3
1	3	3	2			2,7
2	8	8	6			7,3
3	10	10	8			9,3
4	10	9	8			9,0
5	10	9	8			9,0
6	10	8	6			8,0
7	9	8	6			7,7
8	9	8	6			7,7
9	9	8	5			7,7
24	8	7				6,7 $\pm$ 3,8 +

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
 $s_d = \pm 1,53$

+ Vertrauensbereich für 95 %
 statistische Sicherheit



Amalgamator: Wig-L-Bug

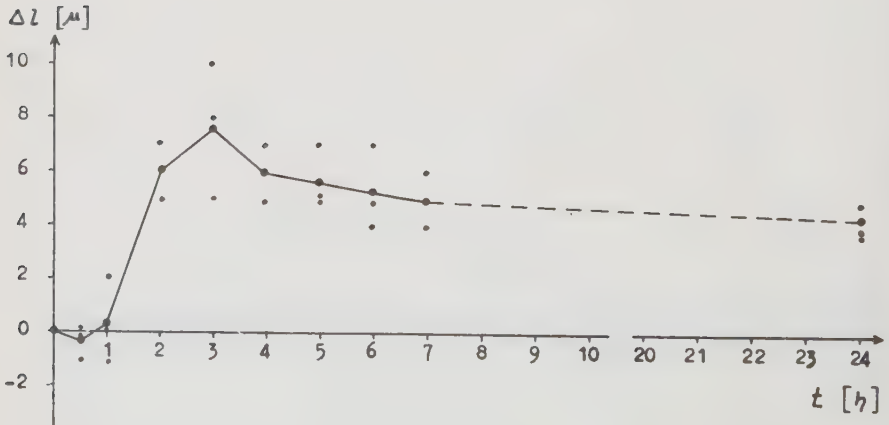
Legierung: Standalloy

Mischdauer: 10 sec

Std d_1	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	0	0	-1			-0,3
1	2	0	-1			0,3
2	6	7	5			6,0
3	8	10	5			7,7
4	6	7	5			6,0
5	5	7	5			5,7
6	4	7	5			5,3
7	4	6	5			5,0
8						
9						
24	4	5	4			4,3 $\pm$ 1,42 +

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
sd = $\pm$ 0,54

+ Vertrauensbereich für 95 %
statistische Sicherheit



Amalgamator: Wig-L-Bug

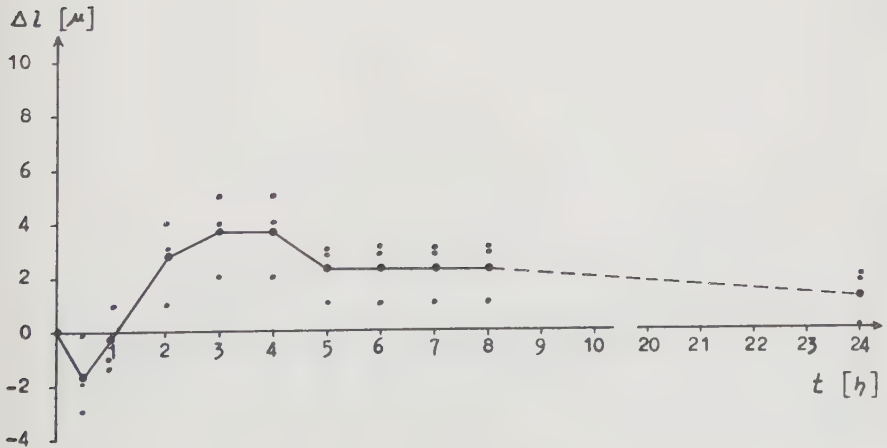
Legierung: Standalloy

Mischdauer: 15 sec

Std. d _i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	0	-2	-3			-1,7
1	1	-1	-1			-0,3
2	3	4	1			2,7
3	5	4	2			3,7
4	5	4	2			3,7
5	3	3	1			2,3
6	3	3	1			2,3
7	3	3	1			2,3
8	3	3	1			2,3
9						
24	2	2	0			1,3 $\pm$ 2,88 $\pm$

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
sd = $\pm$ 1,15

+ Vertrauensbereich für 95 %
statistische Sicherheit



Amalgamator: Wig-L-Bug

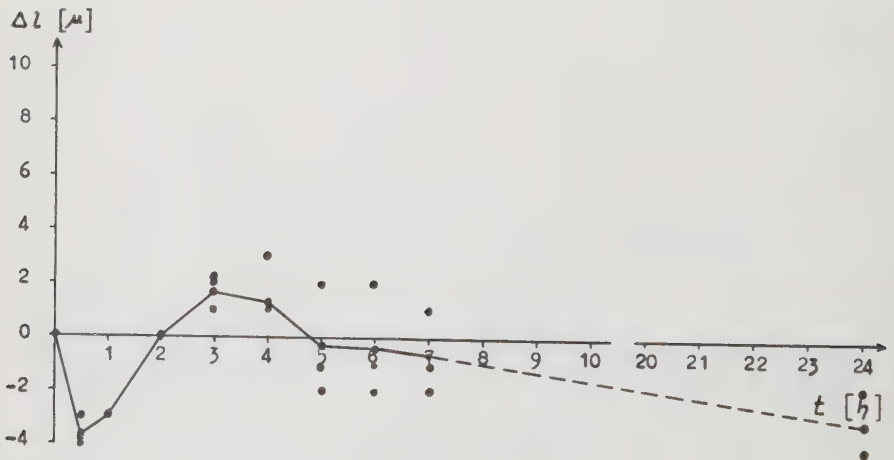
Legierung: Standalloy

Mischdauer: 20 sec

Std. d _i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in μ
0	0	0	0			0,0
1/2	-4	-3	-4			-3,7
1	-3	-3	-3			-3,0
2	0	0	0			0,0
3	2	1	2			1,7
4	3	1	0			1,3
5	2	-2	-1			-0,3
6	2	-2	-1			-0,3
7	1	-2	-1			-0,7
8	1					
9						
24	-2	-4	-3			-3,0 $\pm$ 2,5 $\pm$

Standardabweichung des Endwertes nach 24 Stunden:
s_d = $\pm$ 1

+ Vertrauensbereich für 95 %
statistische Sicherheit

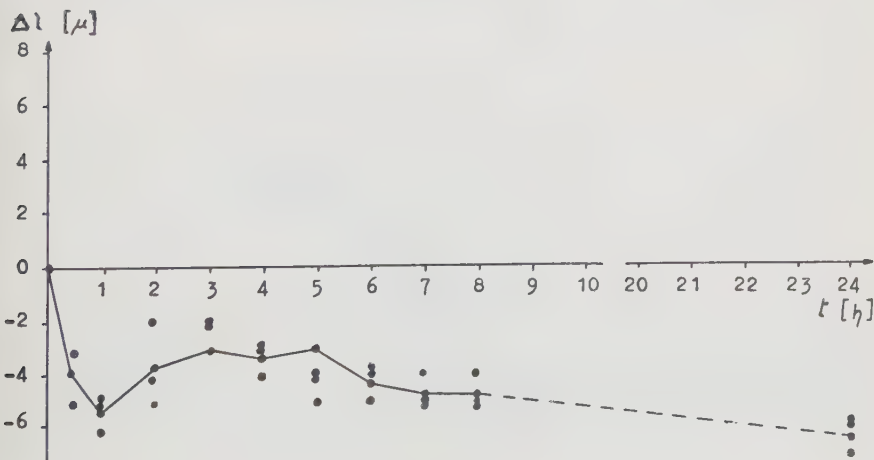


Amalgamator: Wig-L-Bug
Legierung: Standalloy
Mischdauer: 25 sec

Std. d _i	I	II	III	IV	V	Mittelwert in u
0	0	0	0			0,0
1/2	-5	-3	-4			-4,0
1	-6	-5	-5			-5,3
2	-4	-5	-2			-3,7
3	-2	-5	-2			-3,0
4	-3	-4	-3			-3,3
5	-3	-3	-3			-3,0
6	-5	-4	-4			-4,3
7	-5	-5	-4			-4,7
8	-5	-5	-4			-4,7
9						
24	-6	-7	-6			-6,3 $\pm 1,43$ +

Standardabweichung des End-
 wertes nach 24 Stunden:
 $s_d = \pm 0,58$

+ Vertrauensbereich für 95 %
 statistische Sicherheit



IX. Auswertung der Meßergebnisse:

Der Beurteilung über die Brauchbarkeit des untersuchten Amalgams liegt die Spezifikation Nr. 1 des National Bureau of Standards Absatz 3 zugrunde. Ein brauchbares Amalgam wurde von den Amalgamatoren Baker, De-gussa-Mischer 2 und NonzinComat erst nach einer Mischdauer von mindestens 15 Sekunden geliefert. Da in dieser Arbeit das Dimensionsverhalten der Amalgame bei verschiedenen Mischzeiten untersucht wird, werden die Mischzeiten von 15 auf 20, 25, 30 und 35 Sekunden erhöht. Das Gerät Wig-L-Bug dagegen lieferte schon ab 8 Sekunden Mischdauer ein brauchbares Amalgam. Die Mischzeiten betrugen in diesem Fall 8, 10, 15, 20 und 25 Sekunden. Die Ergebnisse zeigen für alle Amalgamatoren, daß bei Erhöhung der Triturationszeit die Endexpansionswerte immer kleiner wurden.

Baker Amalgamator:

Die besten Mischzeiten liegen zwischen 15 und 30 Sekunden. Bei diesen Mischzeiten ergab sich ein Amalgam, dessen Endexpansionswerte nach 24 Stunden innerhalb der geforderten Grenzen von 3 bis 13 μ lagen. Bei 35 Sekunden Mischdauer trat ein Endexpansionswert auf, der zwar noch positive Endexpansion zeigte, jedoch unter 3 μ lag und so den Spezifikationen Nr. 1 des NBS nicht mehr genügte.

Folgende Abbildung zeigt einen Überblick über den mittleren Endwert von 3 bis 4 Messungen nach 24 Stunden einschließlich des Vertrauensbereiches für 95 % statistische Sicherheit.

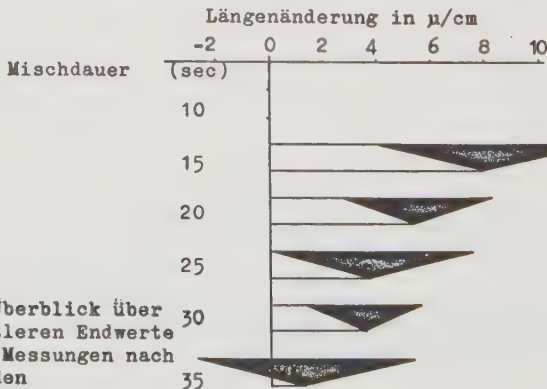


Abb. 5 Überblick über die mittleren Endwerte von 3-4 Messungen nach 24 Stunden

B A K E R

Degussa-Mischer 2:

Dieses Gerät arbeitet ähnlich wie der Baker Amalgamator. Beide Amalgamatoren sind etwa gleich geartet und lieferndeshalb auch ganz ähnliche Ergebnisse. Die günstigsten Mischzeiten liegen hier auch zwischen 15 und 30 Sekunden. Bei einer Mischdauer von 35 Sekunden wurde das Amalgam übertrituriert und war daher für den Gebrauch als Füllungsamalgam ungeeignet. Die weitere Abbildung zeigt einen Überblick über den mittleren Endwert aus 3 bis 4 Messungen nach 24 Stunden einschließlich des Vertrauensbereiches für 95 % statistische Sicherheit.

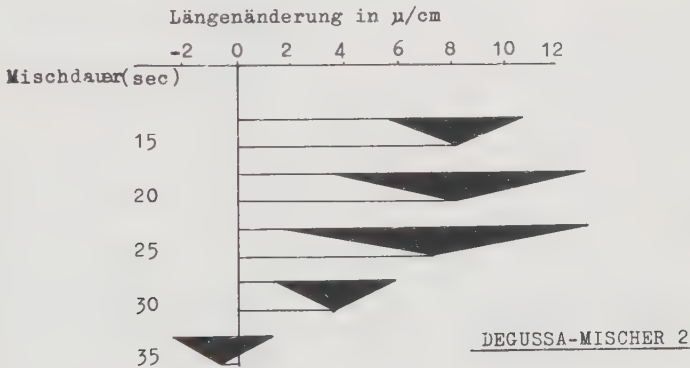


Abb. 6 (vergl. Abb. 5)

NonzinComat:

Als Feilung wurde wie bei allen Amalgamatoren Standalloy benutzt. Eine positive Endexpansion trat nur bei einer Mischzeit von 15 Sekunden auf; bei Mischzeiten von 20 bis 35 Sekunden wurden in zunehmendem Maße negative "Endexpansionswerte" beobachtet. Ein gutes Amalgam, das den Forderungen des NBS entspricht, ergab sich deshalb nur bei einer Triturationszeit von 15 Sekunden. Dieses schlechte Ergebnis gab dazu Anlaß, dieselben Versuche mit Nonzinc als Feilung durchzuführen. Ein Vergleich der beiden Feilungen Nonzinc und Standalloy zeigt eine unterschiedliche Form und Größe der einzelnen Teilchen. Standalloy besteht aus langgestreckten nadelförmigen Partikeln, während Nonzinc eine mehr körnige

Struktur besitzt. Diese unterschiedliche Form der Teilchen bedingt eine auf das Volumen bezogene wesentlich größere Oberfläche bei der Feilung Standalloy, und demzufolge eine intensivere Benetzung mit Hg. Da bei Standalloy außerdem eine Mischung mit Hg im Verhältnis 1 : 1 vorliegt, gegenüber Nonzinc mit einem Mischverhältnis von 1 Teil Nonzinc und 0,9 Teilen Hg, ist bei der Feilung Standalloy eine wesentliche Beschleunigung des Prozesses der Amalgamation zu erwarten. Bei Mischzeiten von 15 bis 35 Sekunden ergaben sich jetzt mit Nonzinc keine negativen "Endexpansionswerte" mehr. Bei der kürzesten Mischdauer von 15 Sekunden wurden bereits zu hohe Expansionswerte verzeichnet, die auf eine Untertrituraturation hinwiesen. Die Messungen mit einer Mischdauer von 20 bis 25 Sekunden zeigten die besten Werte. Die Expansionswerte bei 30 und 35 Sekunden genügen nicht mehr den Forderungen, die die Spezifikation Nr. 1 des NBS an ein gutes Amalgam stellt.

Die Geräte NonzinComat und Baker sowie Degussa-Mischer 2 lassen sich kaum vergleichen, da sie sich in Frequenz und Amplitude wesentlich unterscheiden. (siehe Kapitel V)

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen einen Vergleich über die mittleren Endwerte aus 3 bis 5 Messungen nach 24 Stunden mit den Feilungen Standalloy und Nonzinc einschließlich des Vertrauensbereiches für 95 % statistische Sicherheit.

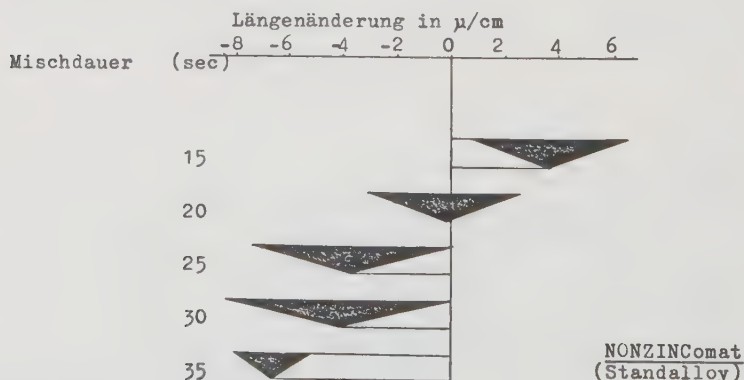


Abb. 7 (vergl. Abb. 5)

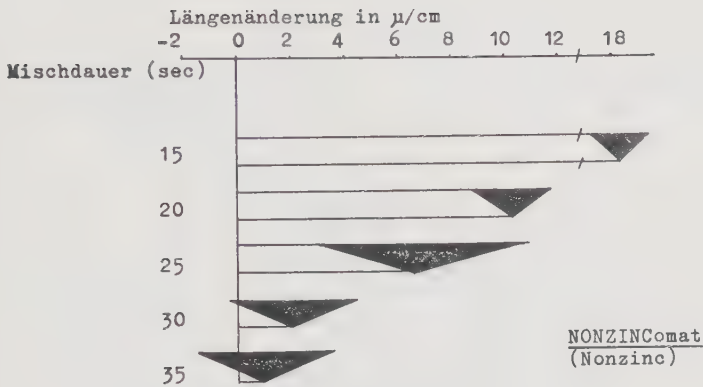


Abb. 8 (vergl. Abb. 5)

Wig-L-Bug:

Dieser Amalgamator erfordert sehr kurze Mischzeiten, da die Vermengung der Teilchen mit Hg sehr unterstützt wird durch einen Metallpistill, der sich frei in der Kapsel befindet. Bei 8 und 10 Sekunden Mischdauer liegen die besten Expansionswerte. Bei höheren Mischzeiten wird das Amalgam übertrituriert und zeigt daher nur hohe negative "Expansionswerte."

Wig-L-Bug kann mit Baker, Degussa-Mischer 2 und NonzinComat nicht verglichen werden, da der Mischvorgang 1. unterstützt wird durch den Pistill und 2. weil die Mischkapsel keine lineare Bewegung ausführt, sondern eine räumliche Schwingung beschreibt.

Die entsprechende Abbildung zeigt einen Überblick über den mittleren Endwert aus 3 Messungen nach 24 Stunden einschließlich des Vertrauensbereich für 95 % statistische Sicherheit.

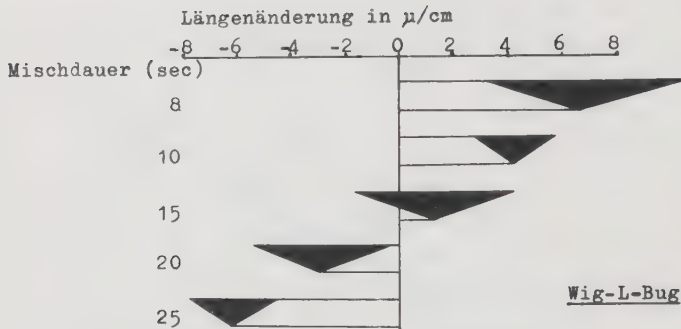


Abb. 9 (vergl. Abb. 5)

X. Allgemeines über die Fließneigung:

Neben dem Dimensionsverhalten wurde noch die Fließneigung des in den vier verschiedenen Amalgamatoren hergestellten Amalgams untersucht. Die Fließneigung ist hauptsächlich vom Quecksilbergehalt des Amalgams abhängig und erhöht sich mit zunehmendem Quecksilberanteil. Zur Prüfung der Fließneigung (Flow) eines Amalgams, wird die Amalgamprobe für eine bestimmte Zeit einem konstanten Druck von 105 kg/cm^2 ausgesetzt und darf dann nicht mehr als 4% "Fluß" zeigen, d.h. die Probe soll bei der genannten Belastung innerhalb 21 Stunden nicht mehr als 4% Kürzung in der Länge aufweisen.

Jedes brauchbare Amalgam soll nach einer Erhärtung von 3 Stunden noch eine deutliche Fließneigung ergeben, da die Erhärtung nach dieser Zeit noch nicht abgeschlossen sein darf. Die Erhärtungsgeschwindigkeit ist abhängig von Form, Größe, Vorbehandlung und Alter der Feilung.

Versuchsanordnung und Meßmethode:

Der Prüfkörper wurde in einer Stahlkavität hergestellt. (Höhe 10 mm und Durchmesser der Bohrung 4 mm) Die Spezifikation Nr. 1 des National Bureau of Standards gibt eine Höhe von 8 mm an. C.H. Fischer 1961 glaubt, daß auch eine Höhe von 10 mm gewählt werden kann, wie das bei diesen Versuchen auch geschah.

Das Amalgam zum Stopfen der Prüfkörper wurde in den vier Amalgamatoren bei einer Mischdauer von 25 Sekunden zubereitet. Nach dem Stopfen wurde der Prüfkörper der Stahlform entnommen und 3 Stunden vom Beginn des Mischens an gerechnet zur Erhärtung im Thermostat belassen. Anschließend wird die Länge des Prüfkörpers mit einer Mikrometerschraube gemessen. Der Körper wird nun 21 Stunden lang in der Flow-Mess-Apparatur mit 105 kg/cm^2 belastet. (Abb.10)

Diese Apparatur ist eine einfache Hebelpresse die in einem Wärmeschrank bei 37° Celsius auf konstanter Temperatur gehalten wird. Nach der Belastung wird der Prüfkörper erneut gemessen und die Differenz aus den beiden Meßwerten stellt dann die Längenänderung des Prüfkörpers dar. Die Versuchsanordnung befolgt die Forderung der Spezifikation Nr. 1 des National Bureau of Standards.

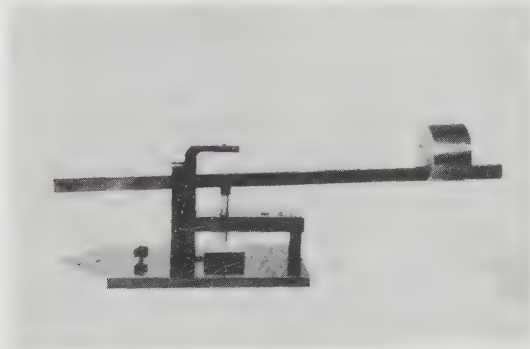


Abb.10. Flow-Mess-Gerät

XI. Meßergebnisse der Flow-Messungen:

Im Folgenden sind angegeben: Der Mittelwert aus jeweils 3 Messungen; die Standardabweichung der Einzelmessung und der Vertrauensbereich bei 95% statistischer Sicherheit.

Degussa-Mischer 2 (Standalloy)

9,991	9,994	10,034
<u>9,770</u>	<u>9,835</u>	<u>9,860</u>
0,221 = 2,21%	0,159 = 1,59%	0,174 = 1,74%

Mittelwert : 1,84%

Standardabweichung: $\pm$ 0,324

Vertrauensbereich : $\pm$ 0,81

Baker (Standalloy)

10,056	10,026	9,997
<u>9,836</u>	<u>9,848</u>	<u>9,805</u>
0,220 = 2,20%	0,178 = 1,78%	0,192 = 1,92%

<u>Mittelwert</u>	1,96%
<u>Standardabweichung</u> :	$\pm$ 0,214
<u>Vertrauensbereich</u> :	$\pm$ 0,53

Wig-L-Bug (Standalloy)

10,048	10,020	9,967
<u>9,824</u>	<u>9,799</u>	<u>9,722</u>
0,224 = 2,24%	0,221 = 2,21%	0,245 = 2,45%

<u>Mittelwert</u>	:	2,30%
<u>Standardabweichung</u> :	$\pm$	0,13
<u>Vertrauensbereich</u> :	$\pm$	0,33

NonzinComat (Standalloy)

10,003	9,972	9,987
<u>9,797</u>	<u>9,834</u>	<u>9,801</u>
0,206 = 2,06%	0,138 = 1,38%	0,186 = 1,86%

<u>Mittelwert</u>	:	1,76%
<u>Standardabweichung</u> :	$\pm$	0,349
<u>Vertrauensbereich</u> :	$\pm$	0,87

NonzinComat (Nonzinc)

10,024	10,013	9,992
<u>9,857</u>	<u>9,822</u>	<u>9,840</u>
0,167 = 1,67%	0,191 = 1,91%	0,152 = 1,52%

<u>Mittelwert</u>	:	1,70%
<u>Standardabweichung</u> :	$\pm$	0,207
<u>Vertrauensbereich</u> :	$\pm$	0,51

XII. Auswertung der Flowmessungen:

Für die Beurteilung der Struktur eines Amalgams ist die Fließneigung ebenfalls von großer Bedeutung. Die Messungen stellen allerdings einen sehr viel größeren Test dar, als die Beobachtung des Dimensionsverhaltens. Genaueres über die Arbeitsweise der Schüttelgeräte kann hier wohl nicht gesagt werden, da die Flowmessungen stark vom Quecksilbergehalt des Amalgams abhängig sind. Die Mittelwerte der einzelnen Flowmessungen liegen zwischen 1,70 und 2,30 %. Der durchschnittliche "Fluß" der Proben liegt also unterhalb 4% (Spezifikation Nr. 1 des National Bureau of Standards). Auch bei Abschätzung der Durchschnittswerte der den untersuchten Stichproben zugrundeliegenden Grundgesamtheiten mittels der Vertrauensbereiche ergibt sich, daß die geschätzten Durchschnittswerte der Grundgesamtheiten unterhalb 4% liegen. Somit sind die Ergebnisse zufriedenstellend. Ob der "Fluß" auch von der Mischdauer abhängt, kann hier nicht beantwortet werden, da für diese Untersuchungen alle Proben bei einer Mischdauer von 25 Sekunden hergestellt wurden.

XIII. Diskussion der Meßergebnisse:

Das wesentliche Ziel der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen ist, wie bereits gesagt, das Dimensionsverhalten des mit den vier Amalgamatoren hergestellten Amalgams in Abhängigkeit von der gewählten Mischdauer. Alle gewonnenen Ergebnisse, dargestellt in Kapitel VIII, zeigen in ihrem generellen Verlauf das allgemein bekannte und erwartete Verhalten eines Amalgams im Anschluß an den Mischvorgang: zu Beginn im allgemeinen eine leichte Kontraktion gefolgt von einer relativ starken Expansion, die nach Überschreiten eines Maximums asymptotisch auf einen Endwert zustrebt. Dieser Endwert liegt im allgemeinen über dem Anfangswert der Messung, kann unter ungünstigen Bedingungen jedoch auch unter diesen Wert zu liegen kommen. Alle Versuche bestätigen, daß mit zunehmender Intensität der Mischung eine Abnahme der Endexpansion verbunden ist. Die intensive Mischung kann dabei ihre Ursache sowohl in der Art bzw. Dauer des Mischvorganges als auch in der Form und Zusammensetzung der Feilung haben. Im einzelnen zeigt sich, daß für die kürzeste Mischzeit (von 15 sec bei den Geräten Baker, Degussa-Mischer 2 und NonzinComat, von 8 sec bei dem Gerät Wig-L-Bug) keine meßbare primäre Kontraktion auftritt, während die Endexpansion im allgemeinen unter dem geforderten Wert vom

13 μ /cm bleibt. Das Fehlen der primären Kontraktion ist gewiß nicht unerwünscht, da ein ausreichender Randschluß der Füllung während des ganzen Vorganges der Erhärtung gewährleistet ist. Eine Steigerung der Mischzeit führt in allen Fällen zu einer deutlichen Verlagerung des gesamten Dimensionsverlaufes zu geringeren Werten, wobei die geforderte untere Grenze von + 3 μ /cm relativ schnell unterschritten wird (s. z.B. NonzinComat mit Standalloy Legierung). Bei dem Gerät NonzinComat wird der Einfluß der benutzten Feilung deutlich; Form und Größe der Teilchen haben wie schon erläutert einen erheblichen Einfluß auf die Intensität der Mischung, die sich deutlich in der Größe der auftretenden Expansion niederschlägt.

Die mit den einzelnen Geräten erzielten Ergebnisse fügen sich bei einer genaueren Betrachtung des Mischvorganges gut in die theoretisch zu erwartende Frequenzabhängigkeit des Mischvorganges ein (siehe Kapitel V). Die Messungen der Fließneigung ergeben wie in Kapitel X erläutert keinen weiteren Aufschluß über die untersuchten Mischgeräte. Ihre Aufgabe lag auch in erster Linie in einer Kontrolle des Amalgams auf die Erfüllung der von der Spezifikation des National Bureau of Standards geforderten Eigenschaften.

XIV. Zusammenfassung

Zur Prüfung der Amalgamatoren Baker, Degussa-Mischer 2, NonzinComat und Wig-L-Bug wurde Amalgam bei verschiedenen Mischzeiten hergestellt und in Form von Probekörpern auf sein Dimensionsverhalten untersucht. Ebenso wurde das mit den elektrischen Mischgeräten hergestellte Amalgam auf sein Fließvermögen hin geprüft.

Für die Beurteilung des Amalgams wurde die Spezifikation Nr. 1 des National Bureau of Standards zu Grunde gelegt, nach welcher für ein gutes Amalgam die Endexpansion nach 24 Stunden 3 - 13 μ /cm betragen soll, bezogen auf einen 10 mm langen Probekörper. Die positive Endexpansion soll bei einer Füllung im Munde durch die auftretende geringe Ausdehnung einen guten Randschluß sichern.

Für die vier untersuchten Geräte wurden entsprechend den Richtlinien der genannten Spezifikation die besten Mischzeiten ermittelt.

Die Meßergebnisse zeigen, daß der Erfolg oder Mißerfolg einer Füllung wesentlich von der Mischdauer, dem Mischgerät und von der Wahl der Le-

gierung abhängt. Es ergab sich, daß bei Erhöhung der Mischzeiten die Endexpansionswerte immer kleiner wurden. Das Amalgam wurde schließlich Übertrituriert und verlor dadurch die gewünschten guten Eigenschaften. Bei den Geräten Baker und Degussa-Mischer 2, bei denen die Mischkapsel mit einer kleinen Frequenz und Amplitude hin und her bewegt wird, kann länger gemischt werden als bei dem Gerät NonzinComat, das eine wesentlich größere Amplitude aufweist. Das Gerät Wig-L-Bug erfordert die kürzesten Mischzeiten, da der Mischvorgang sehr unterstützt wird 1. durch den Metallpistill und 2. durch die 3-dimensionale Bewegung der Mischkapsel. Von entscheidendem Einfluß auf die günstigste Mischdauer erwies sich die Form und Größe der Legierungsteilchen. Bei Feilungen mit einer spezifisch großen Oberfläche erfolgt die Benetzung mit Quecksilber viel schneller. Wie aus den Ergebnissen hervorgeht, soll Unter- bzw. Übertrituration des Amalgams vermieden werden, da sich diese für das Füllungsmaterial negativ auswirken.

Dem Zahnarzt wird angeraten, sich vor Benutzung eines solchen "Amalgamators" mit dem Gerät selbst, der Triturationszeit, der Feilung und mit der Menge des zu bereitlegenden Amalgams bestens vertraut zu machen.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Adolph, W. Soll Zinn-Silber-Amalgam von Hand oder maschinell angerieben werden? Dt. zahnärztl. Z. 12. J. 380-389 (1957)
2. Albers, F. Untersuchungen über das Fließen (Flow) von Edalamalgamen, Med. Inaug. Diss. Göttingen 1955
3. Altherr, A. Die Fließerscheinung an Silberamalgamen, Med. Inaug. Diss. Zürich 1956
4. Bruhn, K. Amalgambereitung und -verarbeitung, Zahnärztl. Rdsch. 62. Jg. 71-74 (1953)
5. Detto, G. und H. Sponholz Die Bedeutung der Zusammensetzung und Verarbeitung des Silberamalgams in der zahnärztl. Praxis, Zahnärztl. Welt/Ref. 11./57. Jg. 315-318 (1956)
6. Ficht, A. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten verschiedener Amalgame, Med. Inaug. Diss. Göttingen 1953
7. Ficht, A. und C-H. Fischer Untersuchungen über das Dimensionsverhalten verschiedner Amalgame, Dt. zahnärztl. Z. 9. Jg. 672-686 (1954)
8. Fischer, C-H. und K. Franke Vergleichende Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von Amalgamen bei verschiedenen Meßmethoden, Zahnärztl. Z. 9. Jg. 402-414 (1954)
9. Fischer, C-H. und W. Kleimann Das Dimensionsverhalten von Amalgamen in Kavitäten, Dt. Zahn-, Mund- und Kieferhk. Bd. 19, 347-360 (1954)
10. Fischer, C-H. und H. Lehwald Neuartige Untersuchungen über die Dimensionsänderungen der Amalgame während der Erhärtung, Dt. Zahn-, Mund- und Kieferhk. Bd. 20, 463-479 (1954)
11. Fischer, C-H. und H. Lotz Untersuchungen über die Möglichkeit der Verbesserung des Dimensionsverhaltens 50%iger Silberamalgame, Dt. zahnärztl. Z. 9. Jg. 193-206 (1954)
12. Fischer, C-H. und E. Nöcker Das Fließen bei Amalgamen mit niedrigem Silbergehalt, Dt. zahnärztl. Z. 6. Jg. 497-506 (1959)

13. Franke, K. Vergleichende Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von Amalgamen bei verschiedenen Meßmethoden, Med. Inaug. Diss. Göttingen 1953
14. Freidank, O. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von handelsüblichen Silberamalgamen, die nach ihrem Silbergehalt der Spezifikation Nr. 1 des National Bureau of Standards entsprechen oder als solche dem Zahnarzt angeboten worden sind. Med. Inaug. Diss. Göttingen 1956
15. Hagedorn, F. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von Silberamalgamen, Dt. Zahnärztebl. 10. Jg. 198-202 (1956)
16. Haubeil, J. Bemerkungen zur Technik der Amalgamfüllung, Zahnärztl. Welt, 8. Jg. 588-590 (1953)
17. Helbig, K. Amalgame mit hohem oder niedrigem Silbergehalt? Dt. Dent. Z. 832-835 (1951)
18. Herzog, W. "Amalgammischer" Dt. zahnärztl. Wochenschr. 37. Jg. 919 (1934)
19. Ilg, V.K. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten (Expansion und Kontraktion) der Füllungsamalgame, Dt. zahnärztl. Z. 6. Jg. 127-136 (1951)
20. Ilg, V.K. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten (Expansion und Kontraktion) der Füllungsamalgame, Dt. zahnärztl. Z. 6. Jg. 189-202 (1951)
21. Kleimann, W. Neue Untersuchungen über das Expansionsverhalten von Amalgamen und ihre Folgen in Bezug auf die Spezifikation des National Bureau of Standards, Med. Inaug. Diss. Göttingen 1953
22. Lacroix, R. Grundsätzliches über die optimale Anwendung von Dentalamalgamen, Dt. zahnärztl. Z. 9. Jg. 749-757 (1954)
23. Lane, J.R. A survey of dental alloys, J. Amer. Dent. Ass. 39, H. 4, 414 (1949)
24. Laube, M. Einfluß der Amalgamationsmethoden auf die Expansion, die Stauchung und die Erhärtungsgeschwindigkeit einer nach neuen Methoden hergestellten voramalgamierten Feilung, Med. Inaug. Diss. Heidelberg 1954

25. Lehwald, H. Neuartige Untersuchungen über die Dimensionsänderungen der Amalgame während der Erhärtung Med. Inaug. Diss. Göttingen 1954
26. Loebich, O. Untersuchungen über das Fließen der Amalgame, Dt. zahnärztl. Z. 1. Jg. 1386-1390 (1954)
27. Loebich, O. Mörser und Mischmaschine, Dt. zahnärztl. Wochenschr. 36. Jg. 1168-1170 (1933)
28. Lorenz, D. Die chemische Zusammensetzung von Amalgamfüllungen in ihrer Beziehung zum Mischungsverhältnis der Ausgangsmaterialien und zur Stopfmethode. Med. Inaug. Diss. Göttingen 1957
29. Lotz, H. Untersuchungen über Möglichkeiten der Dimensionsverbesserung 50 %iger Silberamalgame Med. Inaug. Diss. Göttingen 1953
30. Müller, J.M. Amalgam schütteln oder reiben. Zahnärztl. Rundschau Nr. 15, Jg. 1934, 580
31. Neubohn, H-W. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten eines 50 %igen Silberamalgame in Glaskavitäten bei Veränderung der Anmischmethode. Med. Inaug. Diss. Göttingen 1955
32. Nöcker, E. Untersuchungen über das Fließ- (Flow-) und Dimensionsverhalten bei Amalgamen mit einem Silbergehalt unterhalb der Vorschriften des National Bureau of Standards. Med. Inaug. Diss. Göttingen 1957
33. Overdiek, H.F. Manuelles und mechanisches Anmischen von Amalgamen, Zahnärztl. Praxis 8. Jg. 1 (1957)
34. Pieloth, P. Untersuchungen über die Bedeutung des Stopfdruckes für das Dimensionsverhalten der Amalgame, Med. Inaug. Diss. Göttingen 1955
35. Riethe, P. Untersuchungen über das Verhalten voramalgamierter Legierungen, Zahnärztl. Welt/Ref. 59. Jg. 463-469 (1958)
36. Riethe, P. Der Einfluß der Nachalterung auf die Eigenschaften handelsüblicher Amalgame, Zahnärztl. Welt/Ref. 61. Jg. 65-70 (1960)
37. Riethe, P. Über die Nachalterung von 50% und 67% Silber enthaltenden Amalgamen, Zahnärztl. Welt/Ref. 62. Jg. 201-204 (1961)

38. Rieth, P. und
U. Schade Untersuchungen über die Schneidfähigkeit
(carving) von Amalgamen, Dt. zahnärztl. Z.
16. Jg. 1369 (1961)
39. Schulte, G-H. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten
von Amalgamen in Abhängigkeit von der Be-
nutzung mechanischer Schüttelgeräte, Med.
Inaug. Diss. Göttingen 1955
40. Sperber, R. Untersuchungen über die Abhängigkeit der
Dimensionsänderungen handelsüblicher Amal-
game von der Stopftechnik. Med. Inaug. Diss.
Göttingen 1954
41. Strader, K.H. Amalgam alloy: its heat treatment, flow,
mercury content and distribution of di-
mensional change. J. Amer. Dent. Ass. 38,
H. 5, 602 (1949)
42. Strassburg, M. Untersuchungen über das automatische Amal-
gam-Dosier- und Mischgerät "NonzinComat"
Dt. zahnärztl. Z. 9. Jg. 1663-1668 (1962)
43. Swartz, M.L. und
R.W. Phillips A study of amalgam condensation procedures
with emphasis on the residual mercury con-
tent of the increment. I. Strength, flow
and dimensional change, J. Dent. Res. H. 1,
12 (1954)
44. Taylor, N.O., W.T.
Sweeney und D.B.
Mahler Some mechanical characteristics of amalga-
mators, J. Dent. Res. H. 3, 396 (1950)
45. Werner, K-J. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten
von 50-70 %igen Silberamalgamen bei ver-
schiedenen Bedingungen mit dem Dilatometer
nach Bollenrath und dem Dilatometer nach
Winterhager, Med. Inaug. Diss. Göttingen
1956.

Herrn Professor Dr. Dr. P. Riethe möchte ich an dieser Stelle aufrichtig für die Stellung der Aufgabe und für sein stets förderndes Interesse am Fortgang der Arbeit danken.

Mein Dank gilt ferner Herrn Professor Dr. Koller vom Institut für medizinische Statistik und Dokumentation und seinen Mitarbeitern für die Beratung des mathematisch-statistischen Teils.

Mein Dank gebührt der Firma DEGUSSA in Pforzheim, die einen Arbeitsplatz zu Verfügung stellte und die Durchführung der Messungen ermöglichte.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. E. Wagner für seine Hilfe und sein Interesse bei der Durchführung der Messungen.

Lebenslauf.

Am 5. Februar 1939 wurde ich als einziges Kind des Justizhauptsekretärs Willy Ewald und seiner Ehefrau Lina, geb. Schwarz, in Mainz/Rhein geboren. Meine Kindheit verbrachte ich in meinem Elternhause in Groß-Gerau, Darmstädter Straße 67.

Von Herbst 1945 bis Ostern 1950 besuchte ich die Volksschule und anschließend bis Weihnachten 1957 das Prälat-Diehl-Gymnasium zu Groß-Gerau. Im Januar 1958 trat ich in die Eleonorenschule, Gymnasium für Mädchen, in Darmstadt ein.

Nach Erlangung des Reifezeugnisses (1959) studierte ich Zahnheilkunde an der Johannes Gutenberg Universität in Mainz.

Am 1.3.1962 bestand ich hier das zahnärztliche Physikum.

Meine Bestallung als Zahnarzt erhielt ich am 15.2.1965. (Staatsexamen 19.1.1965, Gesamturteil "gut")

Meine Promotion erfolgte am 22.2.1965 an der Johannes Gutenberg Universität zu Mainz.

